

**Experimentelle Untersuchungen über die
Einwirkung des Gleichstromes auf Zellwachstum
und lebendes Gewebe**

Rainer Steigleder

1973



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554604_0008

Aus der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Dir. Prof. Dr. E. Kraft)

DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Experimentelle Untersuchungen über die Ein-
wirkung des Gleichstromes auf Zellwachstum
und lebendes Gewebe.

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwigs-Maximilians-Universität zu München
vorgelegt von

Rainer Steigleder
aus Cadolzburg/Nbg.

München 1973

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. M. Schug-Kösters

Mitberichterstatter:

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 20.12.1973



INHALTSVERZEICHNIS

- I) Einleitung
- II) Problemstellung
- III) Eigene experimentelle Untersuchungen
 - A) 1. Versuche über die Wirkung des elektrischen Gleichstromes auf Einzeller (Paramecien)
 - 2. Paramecien-Versuche mit Berücksichtigung der p-H-Bereiche.
 - B) 1. Versuche mit einzelnen Zellen (Froscheier)
 - a) Elektroden an der Zelle
 - b) Elektroden am Rande der Petrischalen
 - c) Elektroden im Wachsbett
 - d) Elektroden direkt an der Zelle
 - 2. Versuche mit Zellhaufen
- C) Versuche über die Wirkung des Gleichstromes auf einen Gesamtorganismus (Kaulquappen)
 - 1. Kaulquappenversuche
 - Stromstärke: 0,2 - 2,0 mA
 - Einwirkdauer: 5 min.
 - 2. Kaulquappenversuche
 - Stromstärke: 0,1 - 1,0 mA
 - Einwirkdauer: 2 min.
- IV) Diskussion des Wirkungsmechanismus
- V) Zusammenfassung
- VI) Literaturverzeichnis
- VII) Lebenslauf

1) Einleitung:

Die Wirkung des elektrischen Stromes auf lebende Substanz hat seit Anfang der nun völligen Elektrifizierung unseres Zeitalters, in der Naturwissenschaft schon immer großes Interesse hervorgerufen. Die Medizin hat sich aus verständlichen Gründen besonders mit diesem Gebiet auf die mannigfaltigste Weise befasst. Schon 1791 hat Galvani Wechselbeziehungen zwischen Gleichstromimpuls und Muskelkontraktion festgestellt (Galvanisation), wenn auch falsch interpretiert. 1831 legte Faraday mit der Entdeckung der elektromagnetischen Induktion die Grundlagen für die therapeutische Anwendung niederfrequenter Wechselströme. Durch die Fortschritte der Elektronik sind wir heute in der Lage, die Stromenergie nutzbringend medizinisch anzuwenden. Im Bereich der Zahnheilkunde hat in jüngerer Zeit die Anwendung der elektrischen Energie in beachtlicher Breite Eingang gefunden und gute Erfolge gebracht.

wenn auch die Anfänge der Elektrobehandlungen, Elektrosterilisation, Ionentherapie, schon ziemlich weit (Anfang des 20. Jahrhunderts) zurückliegen und weder große Erfolge, noch genügend Verbreitung finden konnten, haben z.B. Untersuchungen von M. Schug-Aösters, W. Ketterl, H. Scheingraber und W. Mach über eine, auf Ionophorese beruhenden Einwanderung von Anästhetika in das Dentin zur Ausschaltung des Bohrschmerzes

neue Aspekte in der Pulpitistherapie eröffnet. (1)

Die erzielten Ergebnisse gaben der konservierenden Abteilung der Universitätszahnklinik München die Anregung, anstelle der Anaesthetikum-Eintreibung die ionophoretische Einbringung von entzündungshemmenden Pharmaka bei Pulpitiden vorzunehmen. K. Wagner (2) der eine derartige Versuchsreihe mit dem Medikament Gantrisin durchführte, konnte recht gute Erfolge erzielen. Andere Autoren, waren in etwa 60 % der behandelten Fälle mittels elektromedikamentöser Eintreibung erfolgreich. Allerdings wurden dabei auch gelegentlich auftretende pathologische Veränderungen des Pulpengewebes festgestellt. Diese Schäden waren eindeutig auf die verwandte Stromstärke, weniger auf die Stromdosis zurückzuführen. Während ursprünglich 2-3 mA angewandt wurden, sollten nun neue Versuche diejenige Stromstärke ergeben, bei der die pathologische Wirkung des Gleichstromes nicht in Erscheinung tritt. Weiter sollte die Frage geklärt werden, ob dem Gleichstrom oder dem Pharmakon die primäre therapeutische Wirkung zuzuschreiben ist. C. Andreff, L. Basset, R.J. Fabluk (3) die an der Columbia-Universität, New York Elektroversuche an Remurknochen unternahmen, rechnen dem Gleichstrom in ganz geringen Stärken heilende und wachstumsfördernde Eigenschaften zu. Auch Wagner glaubt, seine klinisch erzielten Erfolge der Gleichstromwirkung zuschreiben zu können. Hingewiesen sei hier auf die erfolgreiche Anwen-

dung von Wechselstrom, sowie Ultra-Kurz-Wellen bei der Pulpitistherapie.

Die Erfolge der Anwendung des elektrischen Stromes bei Pulpenerkrankungen zeitigten, waren nun Veranlassung, die Wirkung des Gleichstromes auf Wachstum, Zellteilung und das Verhalten von Bakterien und Paramaecien zu untersuchen.

II) Problemstellung:

Unsere Untersuchungen sollten nun zur Klärung der Frage beitragen, ob dem Gleichstrom allein, oder dem Gleichstrom im Zusammenwirken mit dem Pharmakon, die therapeutische Wirkung zuzuschreiben ist. Weiterhin sollte herausgefunden werden, bei welcher Stromstärke und Stromdosis der Gleichstrom Schäden zu setzen vermag. Zu diesem Zweck wurden folgende Versuche durchgeführt.

- 1.) Einwirkung von elektr. Gleichstrom auf Einzeller (Paramaecien)
- 2.) Einfluß des elektr. Gleichstroms auf Froscheier
- 3.) Einwirkung des Gleichstromes auf frisch geschlüpfte Kaulquappen (mit Dr. Gastl)
- 4.) Einwirkung von Gleichstrom
 - a) auf Gewebeteile und deren Wachstum (Hühnerherzgewebe)
 - b) auf einen Gesamtorganismus (befruchtete Hühnereier) (Diese Versuche wurden parallellaufend zu meinen eigenen Versuchen von H. Rumppler durchgeführt.)

III) Eigene experimentelle Untersuchungen:

A) Versuche über die Wirkung des elektr. Gleichstromes auf einzeller. (Pantoffeltierchen)

1.) Allgemeines

Das paramaecium caudatum ist ein asymmetrisch gebauter, gedrungener, zur Gruppe der ciliaten oder wimperinfusorien gehöriger einzeller, der sich mit hilfe der am ganzen Körper verteilten cilien im wasser fortbewegen kann.⁽²⁾ Die art der bewegung, die für die nachfolgenden versuche von wichtigkeit ist, wurde untersucht. dazu wurde dem wasser etwas gelatine zugesetzt; eine bewegungshemmung infolge zähflüssigkeit erleichterte die diesbezüglichen studien. es konnte beobachtet werden, daß das tier langgestreckte spiralen beschreibt, und dabei gleichzeitig um seine eigene achse rotiert.

2.) Pantoffeltierchen-Kultur

Zum zwecke einer ciliatenzüchtung wurde ein heuaufguß verwendet. es zeigte sich, daß pantoffeltierchen zwischen dem 4. und 5. tag entstanden und ca. 2 tage ihre existenz behaupteten. dann wurden sie seltener und verschwanden schließlich ganz. Die versuche mußten also um den 5. tag ange-
setzt werden.

3.) Versuchsanordnung

Aus dem Wasser des Henaufgusses wurden mittels Pipette einige Tropfen entnommen und unter ein mit Wachsfüßchen erhöhtes Deckglaschen auf einen Objektträger gebracht (Bewegungsraum). Unter dem Mikroskop konnte man dann schon bei schwacher Vergrößerung sehen, ob Ciliaten enthalten waren. Waren sie zu erkennen und reichhaltig vorhanden, so erwies es sich als zweckmäßig, etwa 10 - 20 ccm des zu untersuchenden wassers mit verminderter Tourenzahl zu zentrifugieren. Dadurch erreichte man eine höhere Konzentration der Tierzahl pro Fläche und somit bessere Untersuchungsvoraussetzungen.

Die Versuche des Einwirkens von elektrischem Gleichstrom auf die Parameccien wurden folgendermaßen vorbereitet. Ein Objektträger wurde an beiden Enden mit je einer Elektrode versehen und dann mit einem mit wachsfüßchen präparierten Deckgläschen bedeckt.



Das zentrifugierte Material wurde unter das Deckgläschen gebracht, der so versehene Objektträger auf den Objekt-tisch des Mikroskops. Die beiden Elektroden wurden jetzt

an einem Gerät zum Stromschluß gebracht, dessen Stromstärke von 0 - 7 mAmp. manuell dosierbar war, und einen Umpolschalter besaß.

Versuch 1: Stromstärke 0,1 m. A.

Nach dem Einschalten des Gleichstromes entstand ein hoher Widerstand, der allmählich abnahm, die Flüssigkeit wurde leitend, die Amperezahl konnte eingestellt werden. Bei der Stromstärke von 0,1 m.A. nahm man an der Bewegung der Tiere keine Koordination wahr. Die Paramecien benahmen sich wie in nicht unter Stromfluß stehendem Wasser, sie wirbelten wirr durcheinander. Eine gerichtete Bewegung, wenn auch nur sehr schwach, konnte erst nach längerer Zeitdauer (2 Min.) festgestellt werden. Einige Pantoffeltierchen strebten in ihren typischen Spiralbewegungen der Anode zu. Diese Reaktion hielt bei fortschreitender Zeit an, war aber so geringfügig, daß eine größere Anhäufung an der Anode nicht zu orten war.

Versuch 2: Stromstärke 0,2 m. A.

Dieser, wie alle nachfolgenden Versuche erfolgte unter den gleichen Bedingungen wie vorhergehender. Nur die Stromstärke erfuhr eine Änderung. Bei 0,2 m.A. konnte in den ersten 60 sec. eine Orientierung oder Einwirkung noch nicht erkannt werden. Ab 80 sec. wurde eine schwache Wanderung zur Anode hin registriert, die sich bis zum Versuchsabbruch

bei 160 sec. wie im Versuch 1 darstellte.

Versuch 3: Stromstärke 0,3 m. A.

Wie bei den vorhergehenden Versuchen vorgegangen, zeigte dieser dritte Versuch schon bei Beginn eine geringe Wandertätigkeit der Paramaecien zur Anode, die sich mit zunehmender Zeitdauer verstärkte. Bei 120 sec. war ein deutliches Streben nahezu aller Tiere in Richtung Anode gegeben. Größere Ansammlungen um diesen Pol konnten erkannt werden.

Versuch 4, 5, 6, 7, 8: Stromstärken 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8 m.A.

Bei den mit Änderung der Stromstärke um jeweils 0,1 m.A. weiter geführten Versuchen wurde es eindeutig, daß sich die Tiere bei Stromdurchfluß auf die Anode zu bewegten. Ein einheitliches Bild aller zu diesem Pol ziehenden Paramaecien stellte sich dar. Bei 0,7 m.A. verringerte sich die Tierzahl ab 80 sec. Versuchsdauer. Die Stromstärke 0,8 m.A. verstärkte diesen Effekt. Wanderten bei 80 sec. noch wenige Pantoffeltierchen in Richtung Anode, so waren es bei 100 sec. nur noch ganz vereinzelt Exemplare. Ab einer Zeitdauer von 140 sec. stellte sich Blasenbildung infolge elektrolytischer Zersetzung des Wassers ein.

Versuch 9: Stromstärke 0,9 m. A.

Beim Versuch mit der Stromstärke 0,9 m.A. konnte mit der Wanderung der Tiere bis zu 80 sec. die Ergebnisse der Vorversuche bestätigt werden. Wenn es auch sehr wenige Para-

maecien waren, die die Stromstärke bis zu dieser Zeitdauer überlebten, konnte man ab 100 sec. kein Tier mehr unter dem Deckgläschen feststellen. Die eintretende Blasenbildung behinderte zudem die Suche.

versuch 10 - 17: Stromstärke 1,0 - 7,0 m. A.

Ging man mit der Amperezahl über 1 m. A., so wurden die Bewegungen ziemlich eindeutig. Die Tiere strebten der Anode zu. Besonders effektiv ließ sich dies zeigen, wenn man plötzlich umpolte. Die Pantoffeltierchen wendeten und schwammen in entgegengesetzte Richtung. In höheren Amperebereichen fand ein merkwürdiges Ereignis statt. Bei 4 - 5 m. A. blieben die Tiere auf der Stelle stehen, sie waren bewegungsunfähig. Polte man um, so drehten sie sich auf der Stelle um genau 180° ohne auch nur 1 mm zu schwimmen. Bei längerer Einwirkdauer begannen sich die Parameccien aufzulösen, d. h. die Pellicula platzte an einer Stelle, der Inhalt floß aus. Bei 5 m. A., noch deutlicher bei 7 m. A. fand dieser Prozess schon nach wenigen Sekunden statt.

Besprechung und Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Leider war es nicht möglich, bei den Versuchen durch mehrfache Vergrößerung einen eindeutigen Cilienschlag auszumachen, was an der Dicke des Präparates scheiterte.

Auch die Trichocysten, die Abwehrorganellen des Tieres, die auf gewisse Reize hin ausgeschleudert werden, und deren Verhalten hier interessant gewesen wäre, konnten nicht beobachtet werden. Bei allen Versuchen trat deutlich hervor, daß die Parameecien nicht nur durch die Stromstärke, sondern auch durch die Zeitdauer des Stromflusses beeinflusst werden. Bei einer Reihe von Zusatzversuchen stellte man fest, daß die Reizschwelle für die Stromempfindlichkeit der Parameecien herabgesetzt werden konnte. Je länger der Stromfluß wirkte, umso deutlicher war eine Reaktion zu spüren. Ging man beispielsweise von 0,5 - auf 0,3 m. A. zurück, so zeigte sich jetzt schon deutliche Tierbewegung zu Anode.

Folgende Tabelle macht das Verhalten der Parameecien bei Stromfluß in den durchgeführten Versuchen deutlich:

Zeit	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7-1	3	5	7	m.A.
20	~	~	~ A	→ A	→ A	→ A	→ A	stehen u. → A	stehen		
40	~	~	~ A	→ A	→ A	→ A	→ A	A bei Ausgipfel.		~ = wirres Durcheinanderwimmeln	
60	~	~	~ A	→ A	→ A	→ A	→ A	A bei Wendung			
80	~	~ A	~ A	→ A	→ A	→ A	→ A	A wandert weg	A	plätzen	→ A = streben der Anode zu
100	~	→ A	→ A	→ A	→ A	→ A	→ A	A wenig	weg		
120	~	→ A	→ A	→ A	→ A	→ A	→ A	A zieht Blasen			
140	~ A	→ A	→ A	→ A	→ A	→ A	→ A	Wenig gg. tot wenig	Bildung		(außerhalb des direkten Stromflusses)
160	~ A	→ A	→ A	→ A	→ A	→ A	→ A	Blasenbildung			

Die meisten Versuche konnten, wenn sie über längere Zeit gingen, nur bis ca. 0,9 m.A. durchgeführt werden, da dies schon die Stromstärke für beginnende Zerstörung der Pantoffeltierchen war. Kurzfristig überlebten sie auch höhere Stromstärken. Erwähnenswert ist die bereits oben beschriebene Schwellenherabsetzung; bei langer Einwirkdauer waren sogar in Nähe von 0,2 und 0,1 m.A. Reaktionen zu erkennen. Nach etwa 3 - 4 Minuten Zeitdauer stellte sich Ungenauigkeit infolge elektrolytischer Zersetzung des Wassers ein (Blasenbildung).

p H - bereiche:

Wie wir schon feststellten, gingen die Pantoffeltierchen nach einer gewissen Zeit, bei bestimmten Stromstärken zugrunde. Ob die Zerstörung allein auf die Eigenschaft des elektrischen Gleichstromes zurückzuführen ist, wollten wir im folgenden versuchen, zu klären. Es lag zunächst nahe, anzunehmen, die Paramaecien würden nur durch den Strom in ihrem Verhalten beeinflusst. Die Tatsache jedoch, daß bei hohen Stromdosen für kurze Zeit (5-7 m.A. x 2-3 sec.) keine Zerstörung der Tiere eintrat, forderte, auch nach anderen oder zusätzlichen Ursachen Ausschau zu halten.

In einer weiteren Versuchsreihe maßen wir die Geschwindigkeit und die Sterblichkeit in Abhängigkeit der p H Änderungen bei verschiedenen "Stromstärken x Zeit". Dabei stellte sich heraus, daß die Sterblichkeit einherschritt mit dem Umschlagsbereich des violetten Lackmuspapieres in rotes. Das besagt, daß das zu saure bzw. zu alkalische Milieu an der Zerstörung der Tiere verantwortlich war. Dieses Erscheinungsbild ließ sich bei parallel laufenden Kontrollversuchen mit schwachen Säuren und Basen erhärten. Das bedeutete also, daß der Strom die Rolle des auslösenden Effektes spielt, und der p H Wert, der ja mit dem elektrischen Strom in direkter Beziehung steht,

für das Verhalten der Paramaecien bestimmend ist.

versuche:

Folgende versuche wurden unter den gleichen Bedingungen durchgeführt wie in der vorhergehenden versuchsreihe. Durch das Anbringen eines Meßokulars waren wir jedoch in der Lage, die Entfernung der Paramaecien von den Elektroden zu bestimmen.

versuch 1 0,1 m. A.

Bei dieser Stromstärke konnte noch keine gerichtete Bewegung erkannt werden. Erst etwa nach 40 min. Einwirkdauer (= 4 m.A. x min) zeigte sich eine Konzentration der Pantoffeltierchen in den Randgebieten des Deckgläschens, also in minder stromdurchflossenen Gebieten.

versuch 2 0,2 m. A.

Auch hier konnte zuerst von einer Orientierung nichts bemerkt werden. Ab 80 sec. registrierte man eine schwache Wanderung zu Anode hin. Nach größerer Zeitdauer (20 - 25 min) stellte sich wie in versuch 1 eine Anhäufung von Paramaecien in den Außenbezirken des Deckgläschens ein.

versuch 3 0,3 m. A.

Der dritte Versuch zeigte schon von Beginn an eine geringe wandertätigkeit der Tiere zur Anode, die sich mit zunehmender Zeit verstärkte. Um die 2 min. war ein deutliches Streben der Parameecien in Richtung Anode zu erkennen. Bei längerer Einwirkdauer (16 min) stellte sich eine klare, tierfreie Zone unmittelbar um die Anode dar. Je länger der elektr. Gleichstrom einwirkte, umso weiter drängten die Parameecien in die Peripherie; die, wie wir sie nannten, Todeszone wurde größer. Die nachstehende tabellarische Erfassung gibt Übersicht, über die Größenordnungen der Zonen, in der die Tiere nicht existent sein konnten, in Abhängigkeit von Stromstärke und Zeitdauer.

versuch 4 0,4 m. A.

Dieser Versuch zeigte, wie die vorangegangenen zunächst ein eindeutiges Streben der Parameecien zur Anode. Ab der zehnten Minute war eine Konzentration der Tiere am Deckglasrand zu beobachten. Eindeutige Ergebnisse konnte dieser Versuch in Bezug auf exakte Messung nicht bringen, da sich etwa ab der 5. Minute Blasenbildung infolge elektrolytischer Zersetzung des Wassers einstellte.

versuch 5, 6, 7 (0,5 - 0,6 - 0,7 m. A.)

Wie schon beim vierten, machte dieser und die weiteren

versuche Meß- und Beobachtungsschwierigkeiten bereits ab der dritten Minute durch erhebliche Blasenbildung im wasser. Man konnte zwar noch Tiere im Außenbereich des Deckgläschens sehen (nach ca. 7 min.), die Todeszone jedoch war nicht mehr übersichtlich genug, um eindeutige Aussagen machen, oder Messungen vornehmen zu können.

Tabelle zu den pH Versuchen (bei denen die Entfernung der Paramaecien von den Elektroden gemessen wird)

	0,1 mA	0,2 mA	0,3 mA	0,4 mA	0,5 mA
10 min	0 Skt.	0 Skt.	0 Skt.	16 Skt.	-
15 min	0 "	0 "	7 "		-
20 min	0 "	4 "	10 "		-
30 min	0 "	9 "	14 "		-
45 min	6 "	19 "	20 "		-
90 min	8 "	24 "	25 "		-

Skt. = Skalenteilchen

Ergebnis

Durch die Versuche mit dem Meßokular lernten wir einen weiteren wichtigen Punkt in der Verhaltensweise der Paramaecien bei Stromdurchfluß kennen. Wie wir deutlich sahen, versuchten die Tiere dem sich konzentrisch ändernden, von der Elektrode ausgehenden, pH - Bereich

zu entfliehen, d. h. sie waren innerhalb der um die Elektrode befindlichen verschiedenen pH - Höfe nicht lebensfähig, starben ab. Der Eindruck entstand, sie suchten neutrale (Randgegenden) auf. Sie flüchteten in minder stromdurchflossene Gebiete und damit in neutralere pH - Bereiche.

Diese Versuchsreihe zeigte, daß die Sterblichkeit der Pantoffeltierchen bei Gleichstrombehandlung mit der Änderung des pH - Wertes einherschreitet. Als Ergebnis konnten wir daher festhalten: Bei Einwirkung des elektr. Gleichstromes auf Einzeller ist eine Schädigung nicht allein dem Strom als solchem, sondern auch dem sich durch Stromeinwirkung ändernden pH Wert zuzuschreiben.

B) Versuche über die Wirkung des elektr. Gleichstromes auf Froscheier, einzelne Zellen, und frisch geschlüpfte Kaulquappen.

Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen über die Wirkung des elektr. Gleichstromes auf lebendes Gewebe und Zellwachstum wurde eine weitere Versuchreihe (mit Dr. Gastl) durchgeführt.

Diesmal wurde die Gleichstromwirkung auf Froscheier, (1) einzelne Zellen, (2) Zellhaufen, und (3) frischgeschlüpfte Kaulquappen untersucht. Dabei fanden verschiedene Stromstärken Verwendung bei unterschiedlicher Einwirkdauer: Bei den Versuchen mit (1) einzelnen Zellen, und (2) Zellhaufen: Zwischen 0,1 m.A. und 1,0 m.A.. Bei den Kaulquappenversuchen: 0,2 m.A. bis 4 m.A.. Die Einwirkdauer betrug 1 - 5 min. Es wurden einfache Platinelektroden verwendet, die in Wasser eintauchten, bzw. direkt an das Untersuchungsobjekt herangeführt waren. Die Strombehandlung erfolgte in einer mit Wasser gefüllten Petrischale bei den Versuchen mit einzelnen Zellen und Zellhaufen. Die Kaulquappenversuche wurden in einem eigens dafür angefertigten Wachsbad (s. Abb.) durchgeführt, welches mittels einer Zellstoffwand gekammert, sodaß eine

räumliche Isolierung der Anodentiere von den Kathodentieren gegeben war und außerdem das durch den Stromfluß entstandene Feld in engen Grenzen gehalten werden konnte.



In den folgenden Versuchen sollte ermittelt werden, ob und inwiefern sich durch die Strombehandlung in der Entwicklung der Tiere Änderungen, Wachstumshemmung oder -förderung und dergleichen ergeben.

(1) Versuche mit einzelnen Zellen (Froscheier)

Die erste Versuchsreihe (Tab. 1) wurde bei einer Stromstärke von 0,1 m.A. und 1 - 5 min. Einwirkdauer durchgeführt. Dabei fanden Froscheier Verwendung; die Elektroden wurden an die Zelle herangebracht.

5 Petrischalen mit jeweils 2 Eiern, sowie 2 Kontrollen wurden unter gleichen Bedingungen (wie Temp. Lichtverhältnisse) angesetzt.

Die Versuchs-schalen wurden alle mit 0,1 m.A. bestrahlt, jedoch mit verschiedener Zeitdauer von 1 + 5 min.

Tabelle 1

1-Zell-Versuche 0,1 m.A. 1 min. - 5 min. Elektr. an d. Zelle

Min. vor	sofort nach	1.Tag nach	2.Tag nach	3.Tag nach
Strombehandlg.	Strombehandlg.	Strombehandlg.	Strombehandlg.	Strombehandlg.
1 Zellkern etwa 2,0 - 2,5 mm	keine Ver- änderung	bei einem Ei weißlicher Fleck, sonst o.B.norm. Ent- wicklung	1 Tier ge- schlüpft, 1 Tier noch in der Zelle (o.B.)	o.B. gut entwickelt
2 Zellkern 2 - 3 mm mit Längs- furche	"	1 weißl. Fleck	"	"
3 in oder auf Dotter trüber Fleck. Zell- kern 3 mm mit Längsfurche	Im Dotter an den Einstich- stellen d. Elektroden Luftbläschen. trüber Fleck unverändert.	"	noch nicht geschlüpft o.B.	"
4 in oder auf Dotter winzi- ger trüber Fleck in Nähe des Kern-Pols Zellkern 2,5mm mit Längsfurche	Leichte Hof- trübung, Luft- blasen	Bei einem Ei weißlicher Fleck, am Rand des Hofes Kern noch normal entwickelt	1 Tier hat sich von der Zelle gelöst. ein Tier noch nicht ge- schlüpft sonst o.B.	"
5 Zellkern 2,5 mm mit Längsfurche	Luftblasen im Dotter	norm. Ent- wicklung	Beide Tiere geschlüpft o.B.	"

Selbst am 4. und 7. Tag nach der Strombehandlung konnte man an den geschlüpften Tieren keinen Unterschied gegenüber den kontrollierten wahrnehmen.

Zusammenfassung der Ergebnisse (Tab. 1)

Es traten bei der Entwicklung der Tiere keine Unterschiede zu den Kontrolltieren auf. Auch die Zeit des Stromflusses (Dauer) scheint keinen Einfluss ausgeübt zu haben. Die Tiere waren am 3. Tag nach der Strombehandlung alle geschlüpft und gut entwickelt, es gab keine Unterschiede zu den Kontrollen.

Versuche mit 1,0 m. A. (Elektroden im Wasser)

Die zweite Versuchsreihe (Tab. 2) mit einzelnen Zellen wurde unter anderen Bedingungen durchgeführt. Die Stromstärke betrug 1,0 m.A. und die Elektroden waren nicht direkt an der Zelle, sondern im Wasser, am Rande der Petrischale befestigt. Die Einwirkdauer betrug wiederum 1 - 5 min.

Zusammenfassung der Ergebnisse (Tab. 2)

Bei diesen Versuchen schlüpften die Tiere ebenfalls zwischen dem 2. und 3. Tag aus und entwickelten sich vollkommen normal. Es gab wieder keine Unterschiede zwischen den Kontrolltieren und den, mit

strom behandelten.

daß bei diesen versuchen keine schäden gesetzt wurden, war nicht zu erwarten. Deshalb setzten wir eine reihe derselben versuchsanordnung, jedoch mit noch höheren stromstärken an. Dabei wurde deutlich, daß das feld des stromdurchflusses bei eingetauchten elektroden zu weiträumig war, um eine schädigung herbeizuführen.
(Siehe seite 24)

Tabelle 2

1-Zell-versuche 1 m.A. 1 - 5 min. (Elektroden am Rand der Petrischale im wasser)

Min.	vor der Strombehandlg.	sofort nach Strombehandlg.	1.Tag nach Strombehandlg.	2.Tag nach Strombehandlg.	3.Tag nach Strombehandlg.
1	Zellen noch im frühen Entwick- lungsstadium. Runder Kern, an- gedeutete Furche, Hof schwach zu erkennen.	keine Verände- rung gegenüber Kontrolle	o.B.	1 Tier ge- schlüpft o.B.	kein Unter- schied gegen- über Kontrol- len
2	"	"	"	Beide Tiere noch im Dot- ter, aber schon weiterentwickelt	"
3	"	"	"	"	"
4	"	"	"	"	"
5	"	"	"	1 Tier ge- schlüpft	"

1-Zell-versuche 2 m.A. 1 - 5 min.

1	"	"	"	1 Tier ge- schlüpft, beide Tiere weiterent- wickelt	"
2	"	"	"	Beide Tiere noch im Dotter, 1 Tier schon etwas wei- terentwickelt als d. andere	"
3	Zellen noch im frühen Entwick- lungsstadium. Runder Kern, an- gedeutete Furche, Hof schwach zu erkennen.	keine Verände- rung gegenüber Kontrolle	o.B.	1 Tier geschlüpft, beide Tiere weiterent- wickelt	kein Unter- schied gegen- über Kontrol- len
4	"	"	"	Beide Tiere noch im Dotter weiterentwickelt	"
5	"	"	"	1 Tier ge- schlüpft, beide weiterentwickelt	"

1-Zell-Versuche 3 m.A. 5 min.

5	"	"	"	Beide Tiere ge- schlüpft o.B.	"
---	---	---	---	----------------------------------	---

1-Zell-Versuche 5 m.A. 5 min.

5	Zellkern mit Längsfurche	Hof mit weiß- lichem Schleim, bei einem Hi mehr als beim anderen	"	Beide Tiere ge- schlüpft o.B.	"
---	-----------------------------	--	---	----------------------------------	---

Bei weiteren Versuchen mit Stromstärken von 2 m.A., 3 m.A., ja sogar 5 m.A. waren keine Änderungen an den geschlüpften Kaulquappen zu ermitteln. Es lag der Schluß nahe, daß das Stromfeld, welches ja die gesamte Petrischale ausfüllte, zu groß war. Bei dieser Versuchsanordnung zeigten sich deshalb keine Ergebnisse. Die Versuche wurden abgebrochen.

Versuche mit einzelnen Zellen (Froscheier) im Wachsbett

Die nächste Versuchsreihe mit einzelnen Zellen wurde, um eine größere Stromintensität auf die Eier zu erzielen, im oben beschriebenen Wachsbett durchgeführt. Dabei rückten die Elektroden wesentlich näher zusammen, das elektrische Feld war um die Hälfte kleiner. Die Zellstoffmembran wurde entfernt.

Zur Durchführung kamen Versuche in 6 Fraktionen mit jeweils 2 Eiern (Zellen) in Wachshehältern, die mit Innenelektroden versehen waren. (Zeichnung)

Versuch 1: Stromstärke 0,1 m.A., Einwirkdauer 5 min.

Bei der Bestromung mit 0,1 m.A. waren anfänglich keine wesentlichen Einflüsse auf die Entwicklung der Tiere spürbar. Sie schlüpften allerdings etwas früher als die Kontrollen, und zwar zwischen dem 1. und 2. Tag nach der Strombehandlung. Die äußeren Kiemen schienen etwas größer dimensioniert, und die Pigmentierung der Schwanzflossen undeutlicher als die der Kontrollen. 1 Tier hat am 5. Tage nach der Stromeinwirkung die Schwanzspitze verloren. Das andere war o.B.

Versuch 2: Stromstärke 1 m.A., Einwirkdauer 5 min.

Bei 1 m.A. schlüpfte ein Tier schon einen Tag nach der Strombehandlung. Beim anderen Ei konnte man eine diffuse Trübung des Inhalts feststellen. Am 3. Tage trat bei beiden Exemplaren bereits eine Veränderung in Form von etwas größerem äußeren Kiemenwachstum auf. Nach 5 Tagen wurde ein Zurückbleiben im Gesamtwachstum deutlich.

Versuch 3: Stromstärke 2 m.A., Einwirkdauer 5 min.

Bei der Stromstärke von 2 m.A. wurde zum erstenmal der schädigende Einfluß des Gleichstroms auf die Zellentwicklung offenbar. während ein Tier, wenn auch sofort tot, noch geschlüpft war, wurde die

Eizelle des anderen nur noch undeutlich verformt. Das geschlüpfte Tier wies jedoch Mißbildungen in Form von höckerigen weißlich, tumorartigen Erhebungen auf.

Versuch 4: Stromstärke 3 m.A., Einwirkdauer 5 min. Bei diesem Versuch schlüpfte kein Tier mehr. Die Eizellen zeigten einen getrübten Hof, die Kerne waren stark mißgebildet.

Versuch 5 und 6: Stromstärken 4 m.A./ 4,5 m.A., Einwirkdauer 5 min. Auch bei diesen Stromstärken veränderten sich lediglich die Zellen wie im Versuch 4. Die Tiere schlüpften nicht mehr aus.

Zusammenfassung der Ergebnisse: (Tabelle 3)
Durch die Konzentrierung des Stromflusses auf kleinem Raum ergaben sich bei dieser Versuchsreihe erhebliche Unterschiede zu den Kontrolltieren. Bei den Stromstärken ab 1,0 m.A. und der Einwirkdauer von 5 min. wurden Schäden gesetzt. Auffallend war allerdings, daß die Tiere umso früher ausschlüpften, je höher die Stromstärke gewählt wurde. Siehe Übersichtstabelle 3.

Tabelle 3

1-Zell-versuche im wachsbett 0,1 m.A. - 4,5 m.A. Zeitdauer 5 min.

Stromstärke	1.Tag nach Strombehandlg.	2.Tag nach Strombehandlg.	3.Tag nach Strombehandlg.	4.Tag nach Strombehandlg.	5.Tag nach Strombehandlg.
-------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

0,1 m.A.	O.B.	Außere Kiemen: Schwanzflosse bei Kontrolle besser pigmentiert, sonst kein Unterschied	Außere Kiemen etwas größer als bei Kontrollen:	innere Kiemen: kein Unterschied zu Kontrollen	1 Tier hat Schwanzspitze verloren
----------	------	---	--	---	-----------------------------------

1 m.A.	1 tier geschlüpft. in beiden Eiern Kernreste u. Trübung, sonst aber weiter entwickelt	"	Außere Kiemen etwas größer als bei 0,1 m.A. ?	"	Im wachstum etwas zurückgeblieben? Metamorphose o.B.
--------	---	---	---	---	--

2 m.A.	1 tier noch geschlüpft, aber tot. beide mißgebildet: höckerig, weißl. tumorartige Erhebung				
--------	--	--	--	--	--

3 m.A.	nicht mehr geschlüpft. noch getrübt kern stark mißgebildet				
--------	--	--	--	--	--

4 m.A.	"				
--------	---	--	--	--	--

4,5 m.A.	"				
----------	---	--	--	--	--

versuche mit direkt an der Zelle liegenden elektroden

Um nun noch näher die Bedingungen der schädigenden Wirkung des Gleichstromes auf die Zellentwicklung kennenzulernen, kam eine vierte Versuchsreihe zur Durchführung. Dabei wurden wieder, wie bei den ersten, die Elektroden an die Zelle herangebracht. Die Stromstärke betrug bei allen Versuchen 1 m.A., die Einwirkdauer 1 - 5 Minuten. 2 Petrischalen mit je einem Ei wurden in 5 Fraktionen nach Zeitdauer mit eingestochenen Elektroden angesetzt. Zellkerngröße bei allen Eiern 2,5 - 3 mm (mit Längsfurche).

Versuch 1: Stromstärke 1 m.A. Einwirkdauer 1 min. Sofort nach der Strombehandlung zeigten sich an den Einstichstellen Trübungen, die sich diffus bis wolkig zum Innenhof hin ausbreiteten. Am zweiten Tag schlüpften beide Tiere und entwickelten sich zunächst wie die Kontrollen. Am dritten Tag trat bei einem Tier eine Läsion an der Ventralseite auf, das andere Tier war o.B. Die Beweglichkeit war uneingeschränkt gut, das lädierte Tier blieb im Wachstum etwas zurück. Am 9. Tage nach der Strombehandlung war das eine Tier im Vergleich zum anderen um die Hälfte kleiner; das Gesunde konnte von den Kontrollen nicht unterschieden werden.

Versuch 2: Stromstärke 1 m.A., Einwirkdauer 2 min.

Auch bei diesem Versuch trat nach der Beströmung die wolkige Trübung der Einstichstellen und der Höfe auf. Die Entwicklung der Tiere war jedoch schon ab dem ersten Tag deutlich verändert. Beide Rizellen zeigten abartig geformte Kerne, sowie getrübt Höfe. Ein Tier schlüpfte am 2., das andere erst am 3.Tag. Am vierten Tag nach der Strombehandlung konnte man beim Erstgeschlüpfen eine Auftreibung des Bauchteils feststellen; es war am 7. Tag tot, während das andere Tier außer einer leichten Schwanzläsion keinen Unterschied zu den Kontrollen aufwies.

Versuch 3: Stromstärke 1 m.A., Einwirkdauer 3 min.

Bei einer Strombehandlung von 3 Minuten Dauer zeichnete sich bereits am 1. Tag bei beiden Tieren Entwicklungsstörungen ab. Die Kerne entarteten rund, und körnig, die Trübung umfasste die gesamten Zellen. Es kam zu keiner weiteren Entwicklung, keines der beiden Tiere schlüpfte.

Versuch 4 und 5: Stromstärke 1m.A., Einwirkdauer 4 bzw. 5 min.

Auch diese Ansätze zeigten kein anderes Ergebnis als Versuch 3. Die Entwicklung blieb stehen, die Tiere schlüpfen nicht. Siehe Übersichtstabelle 4.

Tabelle 4

1 Zellversuche 1 m.A. 1 - 5 Min (Elektroden an der Zelle)

Min.	vor Strombe- handlung	sofort nach Strombehandlg.	1.Tag nach Strombehandlg.	2.Tag nach Strombehandlg.	3.Tag nach Strombehandlg.
1	Zellkern 2,5 bis 3 mm mit Längsfurche	Bei Einstich- stelle der ei- nen Elektrode eine leichte Trübung. Innen- hof unregel- mäßig getrübt (kl. Wolke)	Hof getrübt Kern abartig Entwicklung fortgeschrit- ten.	Beide Tiere geschlüpft. Im Dotter Kernrest	gut ent- wickelt
2		Bei der einen Einstichstelle mittelgroße Wolke. Bei 2. Einstichstelle kl. Wolke, Innen- hof diffus ge- trübt.	1 Ei Hof ge- trübt, Kern ab- artig weiter- entwickelt. 2. Ei Entwick- lung fortge- schritten, aber leicht entartet	1 Tier ge- schlüpft, 1 Tier noch im Ei. Kern- reste! Tiere noch sehr klein!	Bei einem Tier Kiemen noch nicht so gut ausgebildet
3		+ Elektroden- Einstich Wolke Trübung in Hof besonders dicht in Kernnähe Hof: trübe milch- ge starke Schleim- fäden. Oberflä- chenkörnung auf beiden Seiten der Furche + Ober- flächendeforma- tion, auf der an- deren Seite teil- weise	1 Ei Kernrind entartet. Dotter zerrissen 2. Ei Hof ge- trübt. Ent- wicklung lang- ge Schleim fortge- schritten, abartig	in Entwicklung stehengeblie- ben abartig!	Kern noch in der Zelle abartig!
4		+ Elektroden- Einstich Wolke bis zu Innenhof, Hof Trübung. Querfur- che verschwunden Kern: Oberfläche leicht gekörnt. rast keine Defor- mierungen. Ver- änderungen nicht so deutlich aus- geprägt wie bei 1 m.A. 3 min	1 Eikern rund entartet 2. Ei Hof getrübt Kern oval kaum weiter- entwickelt abartig	" "	" "
5		Innenhof stark getrübt. Trübung greift auf die Vertiefung der Kernoberfläche über. Kern: ähnlich wie bei Versuch III stark de- form besonders auf + Elektr. Seite. Körnung u. höckerige Oberfläche	1. Ei Kern rund entartet 2. Ei Hof stark getrübt, Kern sehr ange- griffen!	" "	" "

4.Tag nach Strombehandlg.	5.Tag nach Strombehandlung	6.Tag nach Strombehandlg.	7.Tag nach Strombehandlg.	8!Tag nach Strombehandlg.
bei einem Tier schwere Läsion an ventralseite d.bauches das andere tier o.B.	1Tier um die Hälfte Kleiner 1 Tier normal entwickelt, beide recht bewe- glich	Keine Ver- änderung! Sind Kiemen weniger pigmentiert	1 Tier mehr als die Hälfte kleiner Gegenüber Kon- trolle sonst kein Unter- schied!	Keine Ver- änderung mehr!

Ein Tier hat aufgetriebenen Bauchteil das andere Tier ist o.B.	1 Tier tot! Das andere Tier recht beweglich normal groß Schwanz leicht verletzt!	"	"	"
--	---	---	---	---

nicht
geschlüpft

/ / / /

" / / / /

" / / / /

Ergebnisse

Diese Versuchsreihe zeigte deutlich, daß bei einer Stromstärke von 1 m.A. eine längere Einwirkdauer Schäden zu setzen vermag. Jene Eier, die nur 1 Minute mit Strom behandelt wurden, entwickelten sich nahezu normal; bei längerer Zeitdauer traten eindeutig Schäden, beziehungsweise ein Stehenbleiben in der Entwicklung auf.

Versuche mit Zellhaufen:

Zur Vervollständigung der Untersuchungen über die Gleichstromwirkung auf Zellen und deren Entwicklung wurden noch Versuche mit Zellhaufen im mit Strom durchsetzten wasser durchgeführt. (Tabelle 5)

Versuche

In Petrischalen wurden Zellhaufen (mehrere Froscheier) im Wasser angesetzt und mit der Stromstärke 1 m.A. bei verschiedenen Zeiten (1 - 5 min) mit Gleichstrom behandelt. Alle Fraktionen entwickelten sich ziemlich gut, bei längerer Einwirkdauer zeigten sich vereinzelt entartete Zellen, die sich jedoch im Verlauf der Zeit weiter entwickelten. Alle Tiere schlüpften und wiesen bis zum 7. Tage

nach der Strombehandlung keine Unterschiede zu den Kontrollen auf. (Siehe Tabelle 5) Dieselben Versuche wurden mit 0,1 m.A. durchgeführt und zeigten gleiche Ergebnisse.

Tabelle 5

Tabelle zu Versuch: Zellhaufen im Wasser 1 m A 1 - 5 Minuten

	vor	1.Tag nach	2.Tag nach	3.Tag nach	4.Tag nach
Min	Strombehandlung	Strombehandl.	Strombehandl.	Strombehandl.	Strombehandl.

1	Zellkerne 2,5 - 3 mm mit Längsfurche	1 entartete Zelle sonst o.B.	Fast alle Tiere ge- schlüpft o.B.	Tiere gut entwickelt	Kein Unters zwi. behande ten Tieren v Kontrollen (größer gew bewegliche
2	"	"	Fast alle Tiere ge- schlüpft, Be- wegungstätig- keit? dopp. Krümmung sonst o.B.	"	"
3	"	2 entartete Zellen, sonst o.B.	Fast alle Tiere ge- schlüpft, o.B. entartete Zel- len weiter- entwickelt?	"	"
4	"	1 entartete Zelle, sonst o.B.	Außer Bewegungs- trägheit o.B.	"	"
5	"	2 entartete Zellen, sonst o.B.	Fast alle Tiere geschlüpft o.B.	"	"

Selbst am 7. Tag nach der Strombehandlung konnte man an den geschlüpften Tieren keinen Unterschied gegenüber den Kontrollen wahrnehmen.

kaulquappenversuche 1 und 2 getrennt im wachsbett.
in einer weiteren versuchsreihe wurde der einfluß des elektrischen gleichstroms auf frisch geschlüpfte kaulquappen, also auf einen im wachstum befindlichen Gesamtorganismus untersucht. Dabei sollte wiederum festgestellt werden, bei welcher Stromstärke in Abhängigkeit zur einwirkdauer der Gleichstrom schäden zu setzen vermag. Die Strombehandlung erfolgte in einer mit wasser gefüllten Petrischale, in der das oben beschriebene Wachsbett eingebracht war. Als Elektroden wurden einfache Platinelektroden verwendet, die in das wasser eintauchten. Durch eine in der Mitte des wachsbeträgnisses angebrachte Zellstoffwand, wurden 2 Kammern geschaffen, die Anoden- und die Kathodenkammern. Die Tiere konnten somit in Anoden- und Kathodentiere unterschieden werden. Alle in den folgenden Versuchen eingesetzten kaulquappen, sowie die Kontrolltiere wurden nach GröÙe und gewicht möglichst gleich ausgesucht. Bei einer einwirkdauer von jeweils 5 bzw. 2 minuten kamen Stromstärken von 0,2 m.A. bis 4 m.A. zur Anwendung.

versuchsreihe I

Versuch 1: Stromstärke 0,2 m.A., einwirkdauer 5 min.
sowohl in die Anoden- als auch in die Kathodenkam-

mer wurden 2 Kaulquappen eingesetzt. bei Einschalten des Stromes fiel eine verminderte Aktivität auf, die während der gesamten Dauer des Stromeinflusses bestand. Gleichzeitig konnte man eine Flucht von den Elektroden feststellen. nach Ausschalten des Stromes verhielten sich die Tiere völlig unauffällig. Eine Veränderung gegenüber den Kontrollen war nicht wahrnehmbar. Auch in der Weiterentwicklung zeigte sich keinerlei Unterschied. Alle Tiere wuchsen bis zum 3. Tag nach der Strombehandlung normal und o. B. heran.

Versuch 2: Stromstärke 0,4 m.A., Einwirkdauer 5 min. Die Bedingungen waren die gleichen wie in Versuch 1. Beim Einschalten des Stromes hörten die aktiven Bewegungen der Tiere nahezu völlig auf. Eine Art Lähmung schien einzutreten, welche nach Ausschleichen des Stromes verschwand. Starke Aktivität setzte ein. Der weitere Verlauf glich dem des ersten Versuchs. Schäden konnten nicht ermittelt werden. Es gab keine Unterschiede zu den Kontrolltieren.

Versuch 3: Stromstärke 0,6 m.A., Einwirkdauer 5 min. Bei wiederum gleichen Versuchsbedingungen stellte sich unter Stromeinfluß zunächst Flucht von den Elektroden, dann völlige Bewegungslosigkeit ein.

Nach Ausschleichen des Stromes erfolgte starke Aktivität. 1 Tag nach der Strombehandlung zeigte sich weder bei den Anoden-, noch bei den Kathodentieren irgendein Befund. Bis zum Versuchsende am 3. Tag nach der Bestromung gab es keine Unterschiede zu den Kontrollen.

Versuch 4: Stromstärke 0,8 m.A., Einwirkdauer 5 min. Auch bei diesem Versuch ähnelte der Verlauf den vorangegangenen ohne wahrnehmbare Abweichungen. Bei einem Kathodentier konnte man am 2. Tage nach der Strombehandlung eine leichte Schwanzwellung feststellen. Sonst ergaben sich keine Unterschiede zu den kontrollen.

versuch 5: Stromstärke 1,0 m.A., einwirkdauer 5 min. Bei der Stromstärke 1 m.A. wurden erstmals Veränderungen in der Entwicklung deutlich. Wie in den vorhergehenden Versuchen waren die kaulquappen unter Stromeinfluß völlig bewegungslos, nach Ausschleichen des Stromes stark aktiv. Der weitere Verlauf zeigte jedoch, daß die bestömteten Tiere in ~~ihre~~ Größenentwicklung hinter den Kontrollen deutlich zurückblieben. Bis zum dritten Tag nach der Strombehandlung holten 3 Tiere im Wachstum wieder etwas auf, ein Kathodentier allerdings erreichte nur etwa

2/3 der Größe der Kontrollen.

Versuch 6: Stromstärke 1,2 m. A., Einwirkdauer 5 min. Neben der Wachstumshemmung, die sich auch bei diesem Versuch ausgeprägt darstellte, konnte jetzt auch bereits eine Deformierung des Körperbaus festgestellt werden.

Kathodenkammer:

Nach der Strombehandlung zeigte sich im Vergleich zu den Kontrollen bei einem Tier eine leichte bauchseitige Auftreibung, während beim anderen der Schwanz am Ende eingerissen war. Das Tier mit der Auftreibung blieb in der Weiterentwicklung etwas mehr im Wachstum zurück als jenes, mit der Schwanzläsion.

Anodenkammer:

1 Tier entwickelte sich normal, wenn auch etwas kleiner, das andere erlitt eine Verletzung der hintersten Schwanzwirbel (etwa 2 mm)

Versuch 7: Stromstärke 1,4 m.A., Einwirkdauer 5 min. Hier überlebte ein Tier nicht die Dauer des Stromeinflusses, die anderen entwickelten sich teilweise schlecht und mit deutlichen Läsionen. Das überlebende Tier in der Kathodenkammer entwickelte sich, abgesehen von vermindertem Größenwachstum hinsichtlich des Körperbaus ohne pathologischen Befund. Das tote Tier wies, schon nach der geringen Zeitdauer von

5 min. eine deutliche Schwanzhakenbiegung auf. Im Anodenbett entstand bei einem der Tiere wiederum noch unter Stromeinfluß eine Schwanzspitzenläsion. Das andere entwickelte sich, obwohl im Vergleich zu den Kontrolltieren im Wachstum zurückgeblieben, bis zum Versuchsabbruch (3. Tag nach Beströmung) ohne jeglichen Befund. Da die Versuche bei ansteigender Stromstärke immer eindeutiger eine effektvolle Schädigung der Kaulquappen offenbar werden ließen, wurden die nachfolgenden Ansätze mit 1,6 m. A., 1,8 m. A., 2,0 m.A. 3,0 und 4,0 m.A. bereits am gleichen Tag der Strombehandlung beendet.

Versuch 8: Stromstärke 1,6 m.A., Einwirkdauer 5 min. noch während des Stromflusses bildete sich bei einem Tier der Kathodenkammer eine irreversible Schwanzbiegung aus. Auch das andere Kathodentier wurde Opfer einer erheblichen Verletzung. Ihm waren Bewegungen nach Ausschalten der Stromquelle nahezu unmöglich. Das Ende des Schwanzes, 0,3 cm nach messung (das gesamte Tier hatte eine Länge von 1,8 cm) war gelähmt, abgestorben.

An der Anode überlebte ein Versuchstier die Dauer der Strombehandlung nicht. Das andere zeigte wieder den typischen Befund der Schwanzhakenbiegung. Das

Größenwachstum konnte nicht mehr verfolgt werden, da die Versuche noch am Abend abgebrochen wurden.

Versuch 9: Stromstärke 1,8 m.A., Einwirkdauer 5 min. Bei 1,8 m.A. waren beide Kathodentiere nach der Bestrahlung tot. Eines ließ wiederum die Hakenbildung des Schwanzes leicht erkennen.

Auch in der Anodenkammer wurden die Kaulquappen einer starken Schädigung unterworfen. während das erste Tier eine ventrale Auftreibung und deutliche Lähmung des Schwanzteiles aufwies, zeigte das zweite nur eine Schwanzkrümmung, und machte auch noch nach Ausschalten des Stromes einen recht vitalen Eindruck.

Versuch 10: Stromstärke 2,0 m.A., Einwirkdauer 5 min. Bei diesem Versuch waren sowohl die Kathoden-, als auch die Anodentiere gleich nach der Strombehandlung tot. Außer einem, konnte man bei allen Tieren eine starke Hakenbildung des Schwanzteiles feststellen.

Versuche 11 und 12: Stromstärke 3,0 und 4,0 m.A., Dauer 5 min. Auch diese Versuche zeitigten dieselben Ergebnisse wie Versuch 10. Die Tiere waren nach der Bestrahlung tot, erhebliche Deformierungen im Körperbau konnten festgestellt werden.

Kaulquappenversuche 2 und 2 im wachsbett (Einwirkdauer jedoch 2 Min.)

Im Rahmen der Kaulquappenversuche, 2 und 2 getrennt im wachsbett wurden noch - unter Änderung der Einwirkdauer - zwei weitere Ansätze durchgeführt. Die Zeitdauer beschränkte sich diesmal auf 2 Minuten, die Stromstärken betrugen 0,1 und 1,0 m.A.

Versuch 1: Stromstärke 0,1 m.A., Einwirkdauer 2 min.

wie erwartet, verlief dieser Versuch analog dem Versuch 1 der vorhergehenden Reihe. Nach Einschalten des Stromes setzte zunächst eine Flucht der Tiere von den Elektroden ein, danach fiel eine stark verminderte Aktivität auf. Bei Ausschleichen des Stromes verstärkten sich die Bewegungen. In der Entwicklung der Versuchstiere ergaben sich bis zum 3. Tag nach der Strombehandlung keine Unterschiede zu den Kontrollen.

Versuch 2: Stromstärke 1,0 m.A., Dauer 2 min.

Dasselbe Bild wie in allen vorhergehenden Versuchen zeigte sich auch bei 1,0 m.A.: Bewegungslosigkeit der Kaulquappen bis zum Ausschleichen des Stromes, dann starke Aktivität. Ein Tier allerdings war 3 Stunden nach der Beströmung mit einer stark aufgetriebenen Bauchseite tot. Die anderen entwickelten sich ohne besondere äußeren Merkmale normal. Sie blieben im Größenwachstum insgesamt hinter den Kon-

trollen zurück.

Da sich bei dieser Versuchsreihe keine nennenswerten Unterschiede zu den vorhergehenden Versuchen ergaben, wurden sie abgebrochen.

Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Kaulquappen-
Versuchen:

Die Versuche wurden an frisch geschlüpften Tieren vorgenommen. Die Stromstärken betrugen zwischen 0,1 m.A. und 4,0 m.A., die Einwirkdauer 5 und 2 Minuten.

In den Bereichen 0,1 m.A., 0,2 m.A., 0,4 m.A., 0,6 m.A. und 0,8 m.A. zeigten sich nur während des Stromeinflusses: a) Flucht von den Elektroden
b) Bewegungsstörungen, die jedoch bei Ausschleichen des Stromes behoben waren. Nach der Behandlung entwickelten sich die Tiere vollkommen normal. Ein Kathodentier hatte bei 0,8 m.A. am 2. Tage eine leichte Schwanzwellung. Sonst ergaben sich keine Unterschiede zu den Kontrollen.

In den Stromstärkebereichen von 1,0 m.A. bis 4,0 m.A. wurden Schäden gesetzt. Obwohl zwar im Versuch B 2 ein Versuchstier nicht überlebte,

entwickelten sich bei 1,0 m.A. alle Tiere, abgesehen von vermindertem wachstum, äußerlich normal. Ab 1,2 m.A. konnte bereits eine Deformierung des Körperbaus registriert werden. Wachstumshemmung und Schwanzwirbel-Läsionen wurden bei ansteigender Stromstärken immer mehr manifest. Ab 1,4 m.A. konnte man schon eine deutliche Schwanzhakenbildung wahrnehmen, die sich bis zu 2,0 m.A. verstärkte. Auch die Größe der Tiere blieb wesentlich hinter den Kontrollen zurück. Bei 2,0 m.A. trat bei allen Tieren nach der Strombehandlung der Tod ein. Sie wiesen eine starke Hakenbildung des Schwanzes auf. Diese Versuche zeigten deutlich, daß am geschlüpften Tier ab 1,0 m.A. Schädigungen auftreten, was im Einklang zu den Ergebnissen der Versuche mit einzelnen Zellen (Froscheiern) steht.

Tabellarische Erfassung der Kaulquappenversuche 2 und 2 getrennt im wachsbett

Einwirkdauer 5 Min.

A. unter Stromeinfluß 1.Tag n.Strom 2.Tag n.Strom 3.Tag n.Strom

2	Flucht von Anode zur Kathode während Stromeinfluß verminderte Aktivität.	Anode +Kathode o.B. Kein Unterschied zu Kontrolle.	o.B.	o.B.
---	--	--	------	------

4	starke Aktivität danach Bewegungslos. Nach Ausschl. des Stromes starke Aktivität.	"	"	"
---	---	---	---	---

6	Flucht vor den Elektroden, danach Bewegungslosigkeit nach Ausschleichen des Stromes starke Aktivität.	"	"	"
---	---	---	---	---

8	"	"	1 Anodontier leichte Schwangewellung.	"
---	---	---	---------------------------------------	---

U	Kathode 1 Tier kleiner, o.B. Anode o.B.	Kath. 1 Tier kleiner o.B. Anod. o.B.
---	---	--------------------------------------

2	Kathode 1 Tier im Körperbau etwas deform 2.Tier, Schwanz am Ende etwas eingerissen. Anode, 1 Tier Schwanzwirbel etwas verletzt. 1 Tier klein.	Kath. deform Tier im Wachstum etw. zurück Anode " "
---	---	---

4	Kath. 1 Tier tot (Schwanzhakenbiegung) Anode 1 Tier Schwanzspitze ladiert 1 Tier o.B.	Kath. gleichgeblieben Anode: gleichgeblieben
---	---	--

6	Kath. vom 1,8 cm langen Tier sind 0,3 cm von der Schwanzspitze abgestorben. Anode 1 Tier gestorben, 2.Tier Schwanzspitze defekt.	Diese Versuche wurden am gleichen Tag beendet.
---	--	--

A. unter Stromeinfluß 1.Tag n.Strom 2.Tag n.Strom 3.Tag n.Strom

8 Kath.und Anode
Tiere zum Teil
stark geschädigt
Schwanz starke
Makenbildung
Niere z.Teil tot
z.Teil o.B.

0 Kath.und Anode
gleich nach Strom-
behandlung alle
Niere tot, star-
ke Makenbildung
des Schwanzes.

Schädigungsgrenze oberhalb 0,8 m.A. bereits bei 1 min Einwirkungs-
dauer. (siehe Ein-zell-Versuche)

Schädigungen am geschlüpften Tier ab 1,0 m.A. Bestätigung der
Ergebnisse der Ein-zell-Versuche.

Bei Versuchen von 0,1 m.A. - 1 m.A. 2 Minuten Einwirkdauer:

A. unter Stromeinfluß 1.Tag n.Strom 2.Tag n.Strom 3.Tag n.Strom

1	Flucht von Anode	o.B.	o.B.	o.B.
	danach Bewegungs- losigkeit. bei Ausschleichen Aktivität.			

0 1 Tier tot, Bauch
aufgebläht
1 Tier lebt, Innere SCHADEN GESETZT!
Nieren gut pigmen-
tiert.

IV Gesamtergebnis und Diskussion unter besonderer Berücksichtigung des Wirkungsmechanismus des Gleichstromes auf Zellen und Gewebe.

Die experimentellen Untersuchungen in dieser Arbeit stimmen mit den parallellaufenden Untersuchungen von H. Rumppler über die Einwirkung des elektr. Gleichstromes auf Gewebeteile und deren Wachstum sowie auf befruchtete Eihühnereier (als Gesamtorganismen) überein. Die Ergebnisse beider Untersuchungsreihen lassen die Frage nach der Wirkungsart des Gleichstromes auf Zellen und Gewebe, wie folgt beantworten:

Gleichstrom von mehr als 0,9 - 1,0 m.A. wirkt schädigend sowohl auf die Zelle, als auch auf einen Gesamtorganismus. Mit höheren Ampere beströmte Paramaecien und Eizellen, sowie Zellverbände und Gesamtorganismen starben ab und erfielen. Die in der Pulpitistherapie von K. Wagner verwendeten Stromstärken von 2- 3 m.A. müßten demnach zu hoch gewählt sein. Die dennoch erzielten Erfolge bei Pulpitiden beruhten wahrscheinlich auf der gleichseitig damit verbundenen Eintreibung von Medikamenten - eine Idee von Schug-Kösters, Ketterl, R.v. Werz (6) und auf der Tatsache, daß die Zahnpulpa ja nicht isoliert, sondern dem Gesamtkreislauf angeschlossen ist. Wenn man jedoch die therapeutische Wirkung der bei der elektrischen Eintreibung verwendeten Medikamente wie Wagner (2),

der an der Universitätszahnklinik München derartige Untersuchungen mit dem Pharmakon Gantrisin durchführte, in Zweifel stellt, muß man zu dem Schluß kommen, daß der elektrische Gleichstrom die primäre Heilursache darstellte. Wie sind aber diese, sich widersprechenden Ergebnisse zu deuten!? Auf der einen Seite wird dem elektrischen Gleichstrom keine stimulierende Wirkung (H. Kumppler) auf Zellwachstum der in Kultur gewonnenen Gewebe und am Gesamtorganismus zugebilligt, ja sogar die schädigende Wirkung experimentell (eigene Versuche) nachgewiesen, auf der anderen Seite wurden Heilerfolge an entzündeten Pulpen durch Gleichstrombehandlung beschrieben.

Der bei der elektromedikamentösen Pulpitis-Therapie angewandte Gleichstrom bleibt nicht, wie es in den vorangegangenen Versuchen der Fall war, auf isolierte Zellen oder einen abgegrenzten Gesamtorganismus beschränkt, sondern trifft auf ein dem natürlichen Säftestrom angeschlossenes Organ, nämlich die Pulpa. Durch die Teilnahme am Kreislauf werden ihr ständig neue Nährstoffe zugeführt, die eine Heilung günstig beeinflussen und die anfallenden Schlacken abtransportiert, was bei einzelnen Zellen oder einem isolierten Organismus ausscheidet. In isoliertem

Gewebe verteilen sich bei Gleichstromeinwirkung die Ionen entsprechend ihrer Ladung und dem Konzentrationsgefälle im Gewebe und dessen Medium zwischen den Elektroden. Das milieu wird an der Anode sauer und an der Kathode basisch. Die negativen Ladungen der Hydroxylionen werden an der Anode abgegeben. wasser entsteht: die das saure milieu verursachenden H^+ - Ionen wandern zur Kathode, wo sie das elektron der Hydroxylionen erhalten. wasserstoff entweicht. Hydroxylionen sind jetzt im Überschuß vorhanden. In der Pulpitistherapie findet dieser auf die Gleichstromeinwirkung zurückführbare Effekt Anwendung. (K. Wagner)

Durch den Einfluß des Gleichstroms unterliegt zudem das Pulpengewebe einem erhöhten Stoffwechsel, welche die therapeutische Wirkung der OH-Ionen und die Einleitung von Heilvorgängen indirekt unterstützt, nämlich die vasomotorische und trophische Wirkung des Gleichstromes. (7) Nach einer rasch vorübergehenden Kontraktion folgt eine länger anhaltende Dilatation der Gefäße im Sinne einer aktiven Hyperämie, wobei es zu einer Hyperlymphie kommt. Diese Erscheinung ist durch Freisetzung vasoaktiver Stoffe wie Histamin, Acetylcholin, Amyl - Säure und anderen bedingt. Nach Verschwinden der Hyperämie bleibt jedoch weiterhin eine gewisse vasomotorische Erregbarkeit bestehen. Infolge der gesteigerten Durch-

blutung unterliegt das Rulpengewebe einem erhöhten Stoffwechsel, wird also besser ernährt. Damit ist Steigerung der Abwehrkraft, der Phagozytose und rasche Resorption pathologischer Produkte verbunden. Der Gleichstrom verursacht also eine Erhöhung des Stoffwechsels und übt somit eine antiphlogistische Wirkung aus.

Dennoch können pathologische Veränderungen des Rulpengewebes durch Gleichstromeinwirkung hervorgerufen werden, wenn die Stromstärke zu hoch gewählt wird. So stehen z.B. experimentelle Untersuchungen von W. Gruber (8) über die Einwirkung des Gleichstromes auf die Zahnpulpa des Meerschweinchens, was die schädigende Wirkung des elektrischen Stromes betrifft, im Einklang mit unseren Versuchen. Als durch Gleichstromeinwirkung auf die Meerschweinchenpulpa gesetzte Schäden stellte er sowohl vakuoläre Atrophie der Odontoblasten und retikuläre Atrophie der Pulpa mit fibroider Entartung, als auch die fettige Degeneration, fest. Bereits unter einer Stromstärke von 0,9 m.A. trat, nach Gruber (8) als erste Form der pathologischen Veränderungen eine geringe retikuläre Atrophie auf, und zwar nur an der Pulpenspitze, also an der Eintrittsstelle des Stromes. Bei höheren Stromstärken beschrieb er erhebliche Schädigung des Gewebes in Form von degenerativer Verfettung, fibrillärer Entartung, deutliche Infiltrationen von Leukozyten und Rundzellen. Diese Entzündungen

dungszellen, die auch in scheinbar klinisch intakten Zähnen gefunden werden, können nach LANGE LAND (9) auch als die Folge eines nicht wahrgenommenen Kariesangriffes erklärt werden. Da aber an keinem der zähne der versuchstiere Karies oder andere verletzungen festgestellt werden konnten, müssen diese zellinfiltrationen im Pulpengewebe auf die wirkung des elektrischen Gleichstromes zurückgeführt werden.

in Anbetracht meiner, und der von H. KUMPLER erarbeiteten versuchsergebnisse, sowie der Feststellungen von GRUBER (8), muß es also bezweifelt werden, daß dem Gleichstrom allein eine so effektvolle therapeutische wirkung, wie sie WAGNER (2) beschreibt, zukommt. es ist vielmehr anzunehmen, daß die Erfolge bei der Pulpitistherapie auf das zusammenwirken der komponenten Gleichstrom, Medikament und natürlicher Säftestrom zurückzuführen sind.

Die in der konservierenden abteilung der universitätszahnklinik münchen unternommenen versuche der Pulpitistherapie mittels elektr. Gleichstromes haben 1966/67 in deutschland großes interesse hervorgerufen, Das bewies, daß ein wirkliches bedürfnis für die Methode in der praxis besteht. Denn diese hochwertige Form der elektrotherapie war bisher allgemein vernachlässigt, obwohl sie als ureigenstes gebiet des zahnarztes besondere förderung verdient hätte.

Die z. teil verwandten Stromstärken von 2 - 3 m.A. erscheinen uns heute allerdings zu hoch. Es muß deshalb gefordert werden, die elektromedikamentöse Rulphitis-therapie mit Stromstärken von 0,7 bis 0,8 m.A. durchzuführen. Damit könnte dem Zahnarzt ein therapeutikum an die hand gegeben werden, das eine Abtötung oder schädigung der Bakterien mit einer biologischen verträglichkeit, also Schonung des Gewebes, verbindet.

V Zusammenfassung:

Die oben beschriebenen Versuche sollten die Stromstärke bzw. die Stromdosis aufzeigen, die eine Wachstums- und Entwicklungsschädigung von Zellen und lebendem Gewebe zur Folge haben. Es kamen Versuche mit einzelnen Zellen (Paramaecien, Froscheier) und auch Versuche mit einem Gesamtorganismus, (Kaulquappen) zur Durchführung. Die Versuchsergebnisse stimmten alle in folgendem überein:

Gleichstrom von mehr als 0,9 m.A. Stromstärke führt selbst bei geringer Einwirkdauer, direkt an isolierte einzeller oder an einen Gesamtorganismus angelegt, zu pathologischen Veränderungen. Bei Stromstärken unter diesem Grenzwert ist weder eine Wachstumshemmung noch eine Entwicklungsstörung zu erkennen.

VI Literatur - verzeichnis

1. Schug Kösters, M. Die Behandlung der Pulpa und
des apikalen Parodontium
Berlinische Verlagsanstalt 1966
2. Wagner K. (Dissertation) München 1969
3. Andreff C. Pabuc, R. Veröffentlichung 1969 aus
Basset, L. der Orthopädischen For-
schungsstätte der Columbia
Universität, New York
4. Kükenthal, W
Matthes, E. Leitfaden für das zoo-
logische Praktikum
Jena, 1931
Verlag Gustav Fischer
5. Rimpler, H.
(Dissertation)
München 1971
6. v. Werz, K. Manuskript
7. Wolf, H.
Lutz, R. Die Jonophorese
Zahnheilkunde in Einzel-
Darstellungen
Carl Hanser Verlag München
1951
8. Gruber, W. Experimentelle Untersuchungen
über die Einwirkung d. Gleich-
stromes auf die Zahnpulpa des
Meerschweinchens
(Dissertation) München 1967
9. Langeland, K. Tissue changes in dental
pulp.
Göteborg 1957

L e b e n s l a u f =====

Am 17. Juli 1941 bin ich, Rainer, Martin, Joseph Steigleder als Sohn des damaligen Feldwebels Walter Steigleder und dessen Ehefrau Katharina, geb. Wendel in Fürth/Bay. geboren. Als mein Vater 1943 im 2. Weltkrieg fiel, siedelten wir nach Hesselthal, Schwäb. Hall um, wo ich in den Jahren 1948 - 1949 die ersten beiden Volksschuljahre verbrachte. Danach kehrten wir wieder zurück nach Fürth/Burgfarnbach, wo ich weiterhin bis 1953 die Volksschule besuchte. Ich trat dann in die Oberrealschule Fürth ein, und kam später nach Weißenburg, wo ich 1963 die Reifeprüfung ablegte. Vom Wintersemester 1963/64 bis 1969/70 studierte ich an der Ludwig Maximilian Universität München Zahnmedizin und bestand 1970 das Staatsexamen. Seither bin ich in den städtischen Krankenanstalten Fürth/Bay. als Assistent tätig.

